

生物电阻抗法新公式在透析患者去脂体重中的研究

杨 林 李阿芳 王佩佩 张 蓓 窦艳娜

摘 要 **目的** 以双能 X 线吸收法测量的去脂体重 (fat free mass, FFM) 为参考标准, 以腹膜透析和血液透析患者的人体测量和生物电阻抗 (bioimpedance, BIA) 相关变量, 开发出针对我国透析患者的 FFM 评估公式。**方法** 运用多元线性回归分析模型, 输入可能对预测 FFM 变量有意义的性别、年龄、体重、电阻、电抗、阻抗系数 (H^2/R_{50}) 等变量, 将对 FFM 预测有意义的变量以最高相关系数和最小估计标准误差的顺序输入预测公式。并将透析患者随机平均分成两组, 使用双重交叉验证技术对模型进行验证, 开发出一个 BIA 评估透析患者 FFM 新公式。**结果** 本研究共招募 30 例健康人和 102 例透析患者, 透析患者随机平均分成两组, 训练组、测试组各 51 例, 两组之间在男性比例、年龄、身高、体重、BMI、电阻、电抗、阻抗系数 (H^2/R_{50}) 等方面比较, 差异无统计学意义。根据本研究的透析患者, 开发出最终预测公式: $FFM = 5.783 + (0.313 \times H^2/R_{50}) + (0.311 \times \text{weight}) + (3.047 \times \text{sex})$, 最终模型的决定系数是 0.939, SEE 为 2.42kg。**结论** 本研究开发的生物电阻抗 FFM 公式可能为我国透析患者临床营养监测提供一定的应用价值。

关键词 生物电阻抗 双能 X 线 透析 营养

中图分类号 R445

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2021.06.011

A New Bioimpedance Equation for Fat Free Mass in Chinese Dialysis Patients. Yang Lin, Li Afang, Wang Peipei, et al. Pediatric Surgery Department, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Henan 450000, China

Abstract **Objective** To take the measurement results of dual-energy X-ray absorption (DXA) method as the reference standard, and to develop the FFM evaluation formula for Chinese dialysis patients based on the anthropometrics and BIA-related variables of dialysis patients in this study. **Methods** The hemodialysis and peritoneal dialysis patients, and healthy subjects were enrolled in this study. We used a multiple linear regression analysis model to enter the gender, age, weight, resistance, reactance, impedance coefficient (H^2/R_{50}) and other variables that may be meaningful for predicting FFM variables. The variables that were meaningful for FFM prediction would be the highest correlation coefficient and the smallest the order of the estimated standard error (SEE) was entered into the prediction formula. The dialysis patients were randomly divided into two groups, and the model was verified using double cross-validation technology. If the results of double cross-validation were similar, all dialysis patients were combined to develop a new BIA formula for evaluating dialysis patients' FFM. We used a multiple linear regression analysis model to enter the gender, age, weight, resistance, reactance, impedance coefficient (H^2/R_{50}) and other variables that may be significant for predicting FFM. The variables that were significant for FFM prediction would be input into the prediction formula by highest correlation coefficient and the smallest standard error of estimated. Moreover, the dialysis patients were randomly divided into two groups, and the model was verified using double cross-validation technology. If the results of double cross-validation were similar, all dialysis patients were combined to develop a new BIA formula for calculating FFM of dialysis patients. $P < 0.05$ was thought that the difference being statistically significant. **Results** A total of 102 dialysis patients were recruited in this study. After being randomly divided into two groups, there were 51 people in both group, and there was no significant difference in male ratio, age, height, weight, BMI, electrical, resistance, H^2/R_{50} between the two groups. According to all dialysis patients in this study, the final prediction formula was developed: $FFM = 5.783 + (0.313 \times H^2/R_{50}) + (0.311 \times \text{weight}) + (3.047 \times \text{sex})$, the decision coefficient is 0.939, SEE = 2.42kg. **Conclusion** We developed a new BIA formula for predicting FFM from Chinese dialysis patients, which may provide certain application value for clinical nutrition monitoring in Chinese dialysis patients.

Key words Bioimpedance analysis; Dual energy X-ray absorptiometry; Dialysis; Nutrition

基金项目: 国家自然科学基金 - 河南联合基金资助项目 (U1404804)

作者单位: 450000 郑州大学第一附属医院小儿外科 (杨林), 肾脏内科 (李阿芳、王佩佩、张蓓、窦艳娜)

通讯作者: 窦艳娜, 副主任医师, 副教授, 硕士生导师, 电子信箱: douyanna1982@126.com

血液透析和腹膜透析患者的营养状况与透析患者的预后密切相关^[1,2]。营养状况差的患者预后明显低于营养状况正常的患者,且患者的病死率与营养不良的程度呈正比^[3,4]。准确方便评估患者的营养状态尤为重要。目前研究认为双能 X 线吸收检测法(dual-energy X-ray absorption, DXA)是评估营养状况中去脂体重(fat free mass, FFM)的金标准^[5,6]。但其费用较高,且需要专业人员操作,在临床应用较少。生物电阻抗法(bioimpedance, BIA)因其方便、经济、可重复性好、被测者可接受度高等优点,广泛应用于健康人和患者的人体成分分析中^[7,8]。研究报道,人体中的水分和电解质都与去脂含量高度相关,并经常将 50kHz 的全身 BIA 测量与人体测量学结合使用以预测 FFM 组分^[9]。

目前文献中发表过的 BIA 计算公式,大部分都是由健康人群获得^[10]。而健康人群与透析患者间水负荷和电解质的状态差异很大,使得 BIA 的测量结果与正常人之间存在差异,这种差异可能会影响与 FFM 的线性关系^[11,12]。因此笔者推测从健康人群获得的 FFM 评估公式可能不适用于透析患者。

目前尚没有公认的用于透析患者的 BIA 法评估 FFM 计算公式,本研究以 DXA 法测得 FFM 做为金标准,根据人体测量和 BIA 法测得的相关变量,尝试开发出适用于我国透析人群的 FFM 评估公式。

对象与方法

1. 研究对象:透析患者纳入及排除标准:选取 2018 年 9 月~2019 年 8 月于郑州大学第一附属医院血液净化中心或郑州大学第一附属医院肾脏内科住院的血液透析或腹膜透析患者。纳入标准:①维持性血液透析或腹膜透析患者,透析龄 ≥ 3 个月;②年龄 ≥ 18 岁且 < 80 岁;③签署知情同意书。排除标准:①合并肝硬化、肿瘤等;②有心脏置入物或起搏器的患者;③截肢或瘫痪的患者。健康志愿者纳入及排除标准:选取 2019 年 9~10 月于郑州大学第一附属医院体检科体检者。纳入标准:①年龄 ≥ 18 岁且 < 80 岁;②签署知情同意书。排除标准:①有肾脏、肝脏、呼吸系统、心脑血管系统等重大疾病病史;②高血压病史;③糖尿病病史;④截肢或瘫痪者。

2. 实验仪器与材料:实验仪器包括超声波身高体重秤(欧姆龙 HNH-318,日本欧姆龙株式会社),生物电阻抗频谱测量仪(Xitron 4200,美国 Xitron 公司),笔记本电脑一台(Vostro 5370,美国戴尔公司),双能 X 线吸收仪(Discovery C 骨密度仪,美国 Hologic

公司)。材料包括人体成分分析电极片(一次性电极,德国费森尤斯公司)。

3. 参与者测量流程:血液透析患者测试时间选择在非透析日早上 8 点左右,非透析日即血液透析后的第 2 天,并保持测试前 1 天清淡饮食,禁食、禁水至少 8h。腹膜透析患者选择早上放出腹透液后,并保持干腹,测试时间和饮食要求同血液透析患者;健康志愿者测试时间和饮食要求同血液透析和腹膜透析患者。

4. 身高及体重测量:研究对象于早晨空腹、排便后,着病号服或轻薄衣物,去掉帽子、首饰和鞋子,双足并拢站于超声波身高体重秤上,上身挺直,肢体放松,双眼平视前方,待测量完毕,记录被测者的身高和体重,其中身高精确到 0.1cm,体重精确到 0.1kg。

5. 生物电阻抗仪测量方法:被测者身高、体重测量完毕后,摘除身上的金属物品,平躺至少 5min,双上肢外展约 15°,手背向上,保持与躯干无接触,双下肢自然分开。对进行动静脉内瘘成形术的患者,研究采取内瘘的对侧肢体进行测量,对健康人群、腹透患者和行中心静脉插管的血透患者,研究采取其右侧肢体进行测量。检测者将生物电阻抗仪连接电脑后,用 75% 酒精擦拭电极片需要接触的皮肤,并用纸巾擦干,将 4 个电极片分别贴于被测者的手腕、手背、脚踝和足背部,电极片之间的距离 > 5 cm。打开测量软件开始测量,分别记录 10 轮的测量数据,频率从(5~1000)kHz,所有数据保存至特定文件夹中,并提取频率为 50kHz 的电阻(R_{50})、电抗(X_{c50})测量结果,便于后期做进一步分析。

6. 双能 X 线吸收检测法:待生物电阻抗测量完毕,即带患者进行双能 X 线检查全身营养状况分布,双能 X 线法是利用两种不同水平的 X 线扫描被测者全身,根据射线在不同组织间能量衰减的不同,从而可以逐像素确定被测者的脂肪含量、肌肉含量及骨矿物质质量。测量时被测者去除携带的金属物品,平躺于检测床上,双下肢内旋约 25°使两脚尖相对,脚跟分开,双上肢自然放置于身体两侧,背部朝上,手指分开,并与躯干无接触,嘱被测者测量过程中保持此体位。整个测量大约需要 10min,测量结束后,由专业的 DXA 分析师进行人体各成分分析,分别计算出肌肉、脂肪和骨矿物质含量。

7. 一般资料收集:收集研究对象的一般人口学资料和实验室检查结果,主要包括性别、年龄、血肌酐(Cr)、血清白蛋白(Alb)、血红蛋白(Hb)等,身高、体

重、体重指数 (body mass index, BMI) 通过超声波身高体重秤获得并记录。

8. 统计学方法:运用多元线性回归分析模型开发 FFM 预测公式,输入可能对预测因变量有意义的性别、年龄、体重、电阻、电抗、阻抗系数 (H^2/R_{50}) 等变量,公式结果以最高相关系数和最小估计标准误差 (standard error of estimate, SEE) 的顺序输入。使用双重交叉验证 (double cross-validation technique) 技术进行模型的验证,使用 R 语言的 caret 包将透析患者随机平均分成训练组和测试组,两组进行交叉验证,如果两种方程式的结果被证明是相似的,则将两组人群合并,并使用整体样本开发出一个公式,使用统计学软件 R 进行模型预测和验证。使用 SPSS 22.0 统计学软件对基线资料进行处理分析,两组透析患者的基线资料,符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料采用频数 (百分比) [$n(\%)$] 表示,组间比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 基线资料特征:本研究总共招募 132 例研究对象,其中透析患者 102 例,健康志愿者 30 例,其中男性 79 例,女性 53 例,年龄为 22 ~ 67 岁。透析患者与健康志愿者的人口统计学及临床资料详见表 1。102 例透析患者被随机平均分成两组,即训练组和测试组,每组 51 例,两组透析患者的人口统计学及 BIA 变量详见表 2。

表 1 透析患者和健康志愿者的人口统计学及临床资料比较 [$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$, $M(Q1, Q3)$]

项目	健康志愿者 ($n = 30$)	透析患者 ($n = 102$)	P
男性	18 (60.00)	61 (59.80)	0.985
年龄 (岁)	44.13 $\pm$ 11.64	46.08 $\pm$ 11.18	0.408
身高 (cm)	167.73 $\pm$ 8.13	165.92 $\pm$ 8.69	0.311
体重 (kg)	69.95 $\pm$ 12.14	67.53 $\pm$ 12.96	0.363
BMI (kg/m ²)	24.88 $\pm$ 4.25	24.41 $\pm$ 3.56	0.552
电阻 (Ω)	533.61 $\pm$ 75.00	450.59 $\pm$ 96.39	0.000
电抗 (Ω)	56.69 $\pm$ 7.11	41.49 $\pm$ 13.75	0.000
H^2/R_{50}	53.95 $\pm$ 9.55	64.64 $\pm$ 17.88	0.000
Cr ($\mu\text{mol/L}$)	69.5 (62.3, 83.6)	983.0 (775.0, 1160.0)	0.000
Alb (g/L)	47.59 $\pm$ 2.85	37.31 $\pm$ 6.11	0.000
HB (g/L)	145.78 $\pm$ 11.12	107.48 $\pm$ 19.75	0.000

2. 初步预测公式的开发:将两组 DXA 法测量的 FFM 结果分别作为因变量,利用线性回归分析模型

表 2 两组透析患者的人口统计学及 BIA 变量比较 [$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$]

项目	训练组 ($n = 51$)	测试组 ($n = 51$)	P
男性	27 (52.94)	34 (66.67)	0.157
年龄 (岁)	45.78 $\pm$ 11.83	46.37 $\pm$ 10.60	0.792
身高 (cm)	165.14 $\pm$ 8.92	166.71 $\pm$ 8.46	0.365
体重 (kg)	67.40 $\pm$ 14.09	67.66 $\pm$ 11.87	0.920
BMI (kg/m ²)	24.52 $\pm$ 3.46	24.31 $\pm$ 3.69	0.759
电阻 (Ω)	449.49 $\pm$ 101.80	451.69 $\pm$ 91.66	0.909
电抗 (Ω)	41.84 $\pm$ 15.30	41.13 $\pm$ 12.16	0.798
H^2/R_{50}	64.99 $\pm$ 20.92	64.29 $\pm$ 14.42	0.845

代入自变量,从两组透析人群得出的 BIA 预测公式,以及交叉验证样本的交叉验证结果 (表 3)。训练组透析人群得出预测方程: $\text{FFM}_1 = 11.437 + (0.246 \times H^2/R_{50}) + (0.342 \times \text{体重}) + (3.865 \times \text{性别})$, 男性 = 1, 女性 = 0。测试组透析人群得出预测方程: $\text{FFM}_2 = -8.386 + (0.462 \times H^2/R_{50}) + (0.251 \times \text{体重})$, 训练组患者的 DEXA 法测量结果为 $50.05 \pm 11.48\text{kg}$, FFM_1 公式预测结果是 $50.05 \pm 11.25\text{kg}$, SEE 为 2.26kg , 应用测试组验证的结果是 $50.45 \pm 8.36\text{kg}$, SEE = 2.65kg ; 测试组患者的 DXA 法测量结果为 $50.64 \pm 8.00\text{kg}$, FFM_2 公式预测结果是 $50.64 \pm 7.68\text{kg}$, SEE 为 2.23kg , 应用训练组验证的评估结果是 $50.74 \pm 11.04\text{kg}$, SEE = 2.97kg 。两组之间的预测结果和交叉验证结果显示 FFM 和 SEE 均相似,因此,将所有透析患者合并用于开发新公式。

表 3 两组透析患者预测公式及交叉验证结果 [$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$]

项目	训练组 ($n = 51$)	测试组 ($n = 51$)	P
男性	27 (52.94)	34 (66.67)	0.157
年龄 (岁)	45.78 $\pm$ 11.83	46.37 $\pm$ 10.60	0.792
身高 (cm)	165.14 $\pm$ 8.92	166.71 $\pm$ 8.46	0.365
体重 (kg)	67.40 $\pm$ 14.09	67.66 $\pm$ 11.87	0.920
BMI (kg/m ²)	24.52 $\pm$ 3.46	24.31 $\pm$ 3.69	0.759
电阻 (Ω)	449.49 $\pm$ 101.80	451.69 $\pm$ 91.66	0.909
电抗 (Ω)	41.84 $\pm$ 15.30	41.13 $\pm$ 12.16	0.798
H^2/R_{50}	64.99 $\pm$ 20.92	64.29 $\pm$ 14.42	0.845

3. 最终预测公式:将 DXA 法测量的 FFM 结果 $50.35 \pm 9.85\text{kg}$ 作为因变量,利用线性回归分析模型代入自变量,用所有透析患者的测量值得出预测公式及预测结果,表 4 展示了 FFM 预测模型中自变量对因变量的贡献和输入顺序。最终预测公式: $\text{FFM} = 5.783 + (0.313 \times H^2/R_{50}) + (0.311 \times \text{体重}) + (3.047 \times \text{性别})$, 男性 = 1, 女性 = 0。由表 4 可以看出预测变量的输入顺序为 H^2/R_{50} 、体重、性别,随着变量的累积,模型的决定系数逐渐增大,SEE 逐渐减

小,最终模型的决定系数是 0.939,预测结果为 $50.35 \pm 9.85\text{kg}$,SEE 为 2.42kg ,可以解释预测方程中 93.9% 的变异。其中 H^2/R_{50} 对模型的影响最大,可

以解释模型 78.6% 的变异 ($SEE = 4.54\text{kg}$),重量可以解释模型 73.0% 的变异 ($SEE = 5.10\text{kg}$),而性别可以解释模型 46.4% 的变异 ($SEE = 7.18\text{kg}$)。

表 4 FFM 预测模型中自变量对因变量的贡献和输入顺序

模型和变量	模型累积变量			单独变量		
	r^2	SEE(kg)	P	r^2	SEE(kg)	P
H^2/R_{50}	0.786	4.54	0.000	0.786	4.54	0.000
$H^2/R_{50} + \text{weight}$	0.917	2.82	0.000	0.730	5.10	0.000
$H^2/R_{50} + \text{weight} + \text{sex}$	0.939	2.42	0.000	0.464	7.18	0.000

讨 论

根据本研究中的透析人群开发出 BIA 法评估 FFM 新公式。在最终的评估公式中,笔者根据决定系数和估计标准误差,发现对公式评估影响的顺序依次是 H^2/R_{50} 、重量、性别,随着变量的输入,FFM 预测公式的决定系数逐渐变大,其中对 FFM 评估结果关系最大的是 H^2/R_{50} ,这一点可能跟生物电阻抗法的基本原理有关,生物电阻抗的理论模型是将人体假设成圆柱体,根据公式 $R = \rho \times L/A$,而 $V = A \times L$,进行公式换算可得 $V = \rho \times L^2/R$ (R = 电阻, ρ = 电阻率, L = 导体长度, A = 导体横截面积, V = 导体体积),导体的长度即是人体的高度 H ,体积即是人体中非脂肪组织的组分 FFM,因此 FFM 受 H^2/R_{50} 的影响最大,许多研究中也把 H^2/R_{50} 作为一个预测人体组成部分的关键变量,与本研究结果一致^[13]。

本研究的双交叉验证分析中,随机将透析患者平均分成两组,对训练组和测试组的男性比例、人体测量结果和 BIA 变量分析发现,两组的基本特征比较,差异无统计学意义,但得出的预测方程中训练组的预测方程中含 H^2/R_{50} 、体重和性别 3 个变量,而测试组得出的预测方程中仅有 H^2/R_{50} 和体重两个变量,FFM₁ 预测公式的决定系数是 0.960,FFM₂ 预测公式的决定系数是 0.921,说明含性别因素的模型拟合优度更好,许多研究也证明不同性别中 BIA 法测得身体组分不同^[14,15]。男性相对有更高的肌肉含量,而脂肪含量较女性低,因此性别对 FFM 有影响^[10]。而测试组得出预测方程的出入,笔者推测可能与测试组透析患者中男性比例较大有关,测试组透析患者中男性比例为 66.67%,而训练组透析患者中男性比例为 52.94%,虽然经 χ^2 检验两组之间男性比例比较,差异无统计学意义,但性别比例不同可能会干扰方程的预测。

在双交叉验证分析中,由训练组和测试组分别推

导出的预测方程,用对应的组别进行验证时,估计标准误差稍有增大,笔者考虑这种差异与本研究透析患者的人组人数较少有关,两组之间存在抽样误差。本研究将所有的透析患者应用于公式的预测后发现,最终公式的决定系数是 0.939,可以解释因变量 93.9% 的变异,SEE = 2.42kg ,这种决定系数和估计标准误差与别的研究较一致^[16,17]。Caicedo 等对哥伦比亚女性的 FFM 预测公式 SEE = 2.62kg ,决定系数是 0.84。Sluyter 等^[18] 从 432 例参与者的人群中得出 FFM 预测公式的 SEE = 2.19kg ,决定系数是 0.91,说明本研究中回归方程的拟合优度较好。

人体的阻抗包括由水分、电解质等细胞外非脂肪成分形成的电阻,和由细胞膜等电容性元素形成的电抗,电抗在数值上比电阻要小得多,但有研究报道电抗对细胞内和细胞外的总体重分布变化很敏感^[19]。电抗能更好地反映体内细胞含量,电抗的减低与机体肌肉消耗有关^[5,20,21]。本研究中将电抗代入回归分析模型,发现电抗与 FFM 因变量无明显相关,可能和研究人群有关,笔者研究的人群是透析患者,由于透析超滤的影响,患者体内的细胞外液与细胞内液不断交换,体液与电解质长期处于波动状态,电抗对细胞内成分的预测能力可能降低。

本研究存在一定的不足,主要是本研究是单中心研究且样本量相对较小,在每个透析中心,透析患者的水负荷状态和营养状态存在差异,由本中心的透析患者推导出的 BIA 法预测 FFM 公式可能存在一定的异质性。因此,此公式需要用于更多的透析患者来验证,以评价此公式在我国整体透析人群的适用性。目前尚没有针对透析患者的 BIA 法预测 FFM 的计算公式,本研究以 DXA 法测量结果作为参考标准,根据我国透析患者测得的相关变量,开发出一种用 BIA 法预测 FFM 新公式,为我国透析患者临床营养监测提供一定的应用参考价值。

参考文献

- 1 Katalinic L, Premuzic V, Basic – Jukic N, *et al.* Hypoproteinemia as a factor in assessing malnutrition and predicting survival on hemodialysis[J]. J Artif Organs, 2019, 22(3): 230 – 236
- 2 Gencer F, Yildiran H, Erten Y. Association of malnutrition inflammation score with anthropometric parameters, depression, and quality of life in hemodialysis patients[J]. J Am Coll Nutr, 2019, 38(5): 457 – 462
- 3 Gunalay S, Ozturk YK, Akar H, *et al.* The relationship between malnutrition and quality of life in haemodialysis and peritoneal dialysis patients[J]. Rev Assoc Med Bras (1992), 2018, 64(9): 845 – 852
- 4 李阿芳, 窦艳娜, 王佩佩, 等. 基线老年营养风险指数对维持性腹膜透析患者预后的评估价值[J]. 中华肾脏病杂志, 2019, 11: 841 – 847
- 5 Adedia D, Boakye AA, Mensah D, *et al.* Comparative assessment of anthropometric and bioimpedance methods for determining adiposity [J]. Heliyon, 2020, 6(12): 1 – 9
- 6 Lins Vieira NF, da Silva Nascimento J, *et al.* Association between bone mineral density and nutritional status, body composition and bone metabolism in older adults[J]. J Nutr Health Aging, 2021, 25(1): 71 – 76
- 7 Koury JC, Ribeiro MA, Massarani FA, *et al.* Fat – free mass in adolescent athletes: accuracy of bioimpedance equations and identification of new predictive equations[J]. Nutrition, 2019, 60: 59 – 65
- 8 Dasgupta R, Anoop S, Samuel P, *et al.* Bioimpedance analysis with a novel predictive equation – a reliable technique to estimate fat free mass in birth weight based cohorts of Asian Indian males[J]. Diabetes Metab Syndr, 2019, 13(1): 738 – 742
- 9 Langer RD, Matias CN, Borges JH, *et al.* Accuracy of bioelectrical impedance analysis in estimated longitudinal fat – free mass changes in male army cadets[J]. Mil Med, 2018, 183(7 – 8): e324 – e331
- 10 Tauber RN, Camie CL, Zhang S, *et al.* Comparison of multi – frequency bioelectrical impedance and dual – energy x – ray absorptiometry to assess body composition in college – aged adults[J]. Int J Exerc Sci, 2020, 13(4): 1595 – 1604
- 11 Molfino A, Don BR, Kaysen GA. Comparison of bioimpedance and dual – energy X – ray absorptiometry for measurement of fat mass in hemodialysis patients[J]. Nephron Clin Pract, 2012, 122(3 – 4):

127 – 133

- 12 Bazanelli AP, Kamimura MA, da Silva CB, *et al.* Resting energy expenditure in peritoneal dialysis patients[J]. Perit Dial Int, 2006, 26(6): 697 – 704
- 13 Sinha J, Al – Sallami HS, Duffull SB. An extension of Janmahasatian’s fat – free mass model for universal application across populations of different ethnicities [J]. Clin Pharmacokinet, 2020, 59(9): 1161 – 1170
- 14 Smith – Ryan AE, Blue MNM, Hirsch KR, *et al.* Application of a dual energy X – ray absorptiometry derived 4 – compartment body composition model: non – discriminatory against leanness and sex[J]. Clin Nutr ESPEN, 2020, 40: 401 – 405
- 15 Mascherini G, Castizo – Olier J, Iruñia A, *et al.* Differences between the sexes in athletes’ body composition and lower limb bioimpedance values[J]. Muscles Ligaments Tendons J, 2017, 7(4): 573 – 581
- 16 Jeon KC, Kim SY, Jiang FL, *et al.* Prediction equations of the multi-frequency standing and supine bioimpedance for appendicular skeletal muscle mass in korean older people[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(16): 5487 – 5502
- 17 Beaudart C, Bruyere O, Geerinck A, *et al.* Equation models developed with bioelectric impedance analysis tools to assess muscle mass: a systematic review[J]. Clin Nutr ESPEN, 2020, 35: 47 – 62
- 18 Sluyter JD, Schaaf D, Scragg RK, *et al.* Prediction of fatness by standing 8 – electrode bioimpedance: a multiethnic adolescent population[J]. Obesity (Silver Spring), 2010, 18(1): 183 – 189
- 19 Campa F, Silva AM, Matias CN, *et al.* Body water content and morphological characteristics modify bioimpedance vector patterns in volleyball, soccer, and rugby players[J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(18): 6604 – 6616
- 20 Kyle UG, Genton L, Karsegard L, *et al.* Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20 – 94 years[J]. Nutrition, 2001, 17(3): 248 – 253
- 21 Dos Santos L, Cyrino ES, Antunes M, *et al.* Changes in phase angle and body composition induced by resistance training in older women [J]. Eur J Clin Nutr, 2016, 70(12): 1408 – 1413

(收稿日期: 2021 – 01 – 07)

(修回日期: 2021 – 01 – 21)

(上接第 44 页)

- 9 Nalcayama A, Nakaoka H, Yamamoto K, *et al.* GWAS of clinically defined gout and subtypes identifies multiple susceptibility loci that include urate transporter genes[J]. Ann Rheum Dis, 2017, 76(5): 869 – 877
- 10 Dong Z, Zhou J, Jiang S, *et al.* Effects of multiple genetic loci on the pathogenesis from serum urate to gout[J]. Sci Rep, 2017, 7: 43614
- 11 Zhen Y, Zhang H. NLRP3 Inflammasome and inflammatory bowel disease[J]. Front Immunol, 2019, 1: 276
- 12 Seki S, Oki Y, Tsunoda S, *et al.* Impact of alcohol intake on the relationships of uric acid with blood pressure and cardiac hypertrophy in essential hypertension[J]. J Cardiol, 2016, 68(5): 447 – 454
- 13 温雯, 李月红. 肾脏疾病高尿酸血症诊治的实践指南解读[J]. 临床内科杂志, 2018, 35(1): 71 – 72
- 14 Horv TV, Bohat J, Pavl KM, *et al.* Interaction of the p. Q14K variant of the ABCG2 gene with clinical data and cy – tokine levels in primary hyperuricemia and gout[J]. J Clin Med, 2019, 8(11): 1965
- 15 Mangan MSJ, Olhava EJ, Roush WR, *et al.* Targeting the NLRP3 in-

flamma some in in flamma tory diseases[J]. Nat Rev Drug Discov, 2018, 17(8): 588 – 606

- 16 Zhang HX, Wang ZT, Lu XX, *et al.* NLRP3 gene is associated with ulcerative colitis (UC), but not Crohn’s disease (CD), in Chinese Han population [J]. Inflammation Res, 2014, 63(12): 979 – 985
- 17 Zhang QB, Qing YF, Yin CC, *et al.* Mice with miR – 146a deficiency develop severe gouty arthritis via dysregulation of TRAF 6, IRAK 1 and NALP3 inflammasome[J]. Arthr Res The, 2018, 20(1): 45
- 18 Von HKM, Salas LA, Martinez EM, *et al.* NLRP3 expression in mesencephalic neurons and characterization of a rare NLRP3 polymorphism associated with decreased risk of Parkinson’s disease[J]. Npj Parkinsons Dis, 2018, 4(1): 24
- 19 刘璐, 苗瑞, 姚华, 等. NLRP3 基因 rs10754558、rs3806268 位点单核苷酸多态性与新疆地区汉族男性原发性痛风的相关性研究 [J]. 检验医学与临床, 2019, 3(6): 725 – 731

(收稿日期: 2020 – 11 – 26)

(修回日期: 2021 – 01 – 18)